

PREVISIONI STAGIONALI SPERIMENTALI

SILVIO GUALDI, ANDREA ALESSANDRI, ANTONIO NAVARRA
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni la nostra comprensione del sistema climatico è considerevolmente migliorata. In particolare, notevoli passi avanti sono stati compiuti nella conoscenza dei fenomeni che regolano la variabilità del clima a scale temporali stagionali e interannuali, come, ad esempio, El Nino/Oscillazione Meridionale (ENSO).

Questi progressi sono il frutto della combinazione di diversi fattori quali, per citare i più importanti, il varo di estese e sistematiche campagne di raccolta dati e osservazioni del sistema accoppiato oceano-atmosfera (McPhaden et al. 1998), l'evoluzione della comprensione teorica della fisica del sistema (Neelin et al. 1998) e, infine, lo sviluppo di modelli numerici coi quali approfondire la conoscenza dei fenomeni che caratterizzano la variabilità climatica e, possibilmente, prevederne lo svolgimento (Zebiak e Cane 1987; AchutaRao et al. 2001).

Il miglioramento della nostra comprensione del sistema ha portato la comunità scientifica ad affrontare la sfida delle previsioni climatiche a lungo termine. La possibilità di effettuare previsioni stagionali attendibili, ha un enorme impatto sulla società e, per questa ragione, il "seasonal forecasting" è attualmente considerato uno dei campi strategici di sviluppo della ricerca.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha implementato, nell'ambito del progetto CLIMAGRI, un sistema per le previsioni stagionali basato sul proprio modello accoppiato oceano-atmosfera, denominato SINTEX (Gualdi et al. 2003a). Le previsioni stagionali sono eseguite per mezzo di tecniche di "ensemble" (o Montecarlo). In queste tecniche, un insieme di simulazioni sono eseguite con il modello, partendo da condizioni iniziali leggermente perturbate. I risultati sono poi analizzati con l'ausilio di strumenti statistici, allo scopo di fornire indicazioni sullo stato del sistema al termine delle simulazioni, la cui lunghezza è, generalmente, di alcuni (3 o 6) mesi.

Questo lavoro descrive, per caratteri generali, il sistema di previsioni stagionali sviluppato all'INGV. Inoltre, alcuni risultati preliminari sono presentati e discussi.

IL MODELLO

Gli esperimenti di previsioni stagionali sono effettuati utilizzando il modello accoppiato

SINTEX, sviluppato all'INGV nell'ambito del progetto europeo Scale INTERaction EXperiment, e formato dai modelli di circolazione generale (GCM) ECHAM-4 e ORCA. ORCA è la versione globale del modello oceanico OPA 8.1 sviluppato al LODYC di Parigi (Madec et al. 1998, per la documentazione completa del modello vedere il sito <http://www.lodyc.jussieu.fr/opa/>). ECHAM-4 (Roeckner et al. 1996) è la quarta generazione del modello di circolazione generale atmosferica (AGCM) sviluppato al Max-Planck Institut für Meteorologie di Amburgo. Le componenti atmosferiche e oceaniche sono state accoppiate tramite il pacchetto software OASIS 2.4 (Valcke et al. 2000).

Una descrizione esaustiva e dettagliata di SINTEX e una discussione della sua capacità di riprodurre il clima osservato può essere trovata in Gualdi et al. (2003a, 2003b) e in Guilyardi et al. (2003). Qui ricorderemo solo che, come gli studi citati hanno mostrato, questo modello riproduce in modo realistico le principali caratteristiche della climatologia osservata e simula in modo soddisfacente i principali fenomeni della variabilità interannuale quali, ad esempio, ENSO e le sue teleconnessioni.

IL SISTEMA DI PREVISIONI STAGIONALI

Le previsioni stagionali sono eseguite integrando il modello accoppiato per 6 mesi, partendo da condizioni iniziali specificate. Le condizioni iniziali sono ottenute separatamente per la componente atmosferica e quella oceanica. Le condizioni iniziali dell'oceano sono generate da simulazioni (o analisi) oceaniche, eseguite forzando ORCA con i flussi atmosferici ottenuti dalle "re-analisi" (ERA-40) del Centro Europeo per le Previsioni del Tempo a Medio termine (ECMWF). Le condizioni iniziali atmosferiche sono ottenute da integrazioni del modello atmosferico, eseguite usando come condizioni al contorno le temperature superficiali marine (SST) osservate (Rayner et al. 2000).

La preparazione delle condizioni, iniziali da cui fare partire le simulazioni, rappresenta uno dei problemi cruciali nell'ambito delle previsioni climatiche eseguite con modelli numerici. A causa della natura turbolenta del sistema, le incertezze sulla conoscenza del suo stato iniziale crescono e si propagano rapidamente, producendo incertezze ancora maggiori sullo stato finale delle simulazioni, e quindi sulle previsioni stesse. Tali incertezze, sebbene intrinseche al sistema, possono essere ridotte eseguendo "ensembles" di simulazioni che partano da condizioni iniziali leggermente diverse tra loro. La perturbazione delle condizioni iniziali ha lo scopo di rappresentare l'incertezza che caratterizza la nostra conoscenza dello stato iniziale del sistema.

La strategia di inizializzazione del sistema, quindi, è quella di rappresentare le incertezze nello stato iniziale generando un insieme di 9 diverse condizioni iniziali per l'oceano. Queste sono ottenute eseguendo 3 diverse analisi oceaniche: una, di controllo, nella quale ORCA è forzato con flussi atmosferici ottenuti da ERA-40, e due nelle quali i venti superficiali passati all'oceano sono opportunamente perturbati. Inoltre, due perturbazioni di SST sono applicate ai risultati delle analisi stesse. Le ampiezze e le strutture delle perturbazioni di vento e SST usate, sono consistenti con l'analisi degli errori contenuti nei dati osservati (Rayner et al. 2000).

Allo scopo di valutare l'impatto del ciclo stagionale sulle previsioni, le simulazioni sono fatte partire da 4 diverse date dell'anno: 1° Febbraio, 1° Maggio, 1° Agosto e 1° Novembre. In conclusione, quindi, ogni previsione stagionale è eseguita a partire da queste 4 date (per ognuna delle quali sono state generate 9 condizioni iniziali perturbate) e consiste di un "ensemble" di 9 simulazioni di 6 mesi di durata l'una.

Per mezzo del sistema descritto, abbiamo eseguito previsioni dell'evoluzione del sistema climatico per i 10 anni dal 1987 al 1996. Questi esperimenti ci permettono di fare una valutazione approfondita delle capacità del sistema di produrre previsioni utili e affidabili. Inoltre, nel periodo scelto per le simulazioni, si sono verificati intensi fenomeni ENSO (ad es. 1987), il che ci permetterà di cercare una verifica di eventuali impatti di ENSO sul clima dell'Europa e, in particolare, della regione del Mediterraneo. Nella prossima sezione, presenteremo alcuni risultati preliminari dell'analisi dei dati ottenuti da questi esperimenti di previsione stagionale.

RISULTATI PRELIMINARI

In questo studio preliminare, la discussione dei risultati sarà focalizzata principalmente sulle capacità del modello di riprodurre e prevedere la variabilità climatica nelle regioni tropicali. Una più estesa analisi, che comprenda anche l'analisi delle previsioni nelle regioni extra-tropicali, verrà condotta in un successivo e più completo lavoro.

In linea di principio, la possibilità di effettuare pratiche previsioni stagionali risiede nella capacità dell'oceano, e in special modo delle SST, di influenzare l'atmosfera attraverso lo sviluppo di influenze remote, note come teleconnessioni. L'oceano possiede scale di tempo intrinsecamente più lunghe dell'atmosfera, alle quali corrispondono tempi di predicibilità più lunghi. Risulta pertanto evidente che un requisito importante per il successo delle previsioni stagionali, sia l'abilità delle simulazioni di rappresentare e predire con buona accuratezza lo stato dell'oceano, e in particolare la sua temperatura superficiale.

Un problema notevole, che si presenta quando si effettuano previsioni delle anomalie di SST per mezzo di modelli accoppiati, è il cosiddetto "drift" della SST, vale a dire la differenza che la SST media simulata dal modello esibisce rispetto alla media osservata. La presenza di un tale errore, qualora rilevante, potrebbe infatti compromettere anche seriamente la qualità delle previsioni.

La Figura 1 mostra la media stagionale della SST ottenuta dalle simulazioni, insieme all'errore rispetto alla SST osservata (Rayner et al. 2000). Le medie stagionali sono state ottenute mediando i mesi 4,5 e 6 per ogni previsione. In generale, l'errore commesso nelle medie stagionali simulate è piccolo nelle regioni tropicali. Su gran parte dei tropici, infatti, la differenza tra le osservazioni e le previsioni è minore di 1°C. Solo nella regione del Pacifico tropicale orientale, l'errore del modello supera i 2°C. Un errore più accentuato in questa regione è una caratteristica comune a molti modelli accoppiati, che potrebbe essere collegata a una rappresentazione inadeguata della convezione atmosferica e della copertura nuvolosa simulata al largo della costa peruviana (non mostrata), come discusso da Terray (1998).

La Figura 2 mostra i coefficienti di correlazione spaziale tra le medie stagionali delle anomalie di SST ottenute dalle previsioni e le anomalie di SST osservate nei tropici (30°S-30°N). In questo caso le medie stagionali sono state calcolate considerando il 2°,3° e 4° mese delle simulazioni. Le correlazioni spaziali tra le anomalie stagionali di SST tropicali previste e osservate, sono generalmente alte (in alcuni casi anche maggiori di 0.6), suggerendo che il modello è in grado di riprodurre ragionevolmente bene la distribuzione spaziale delle anomalie di SST in questa regione. In particolare, è interessante notare che le correlazioni sono massime negli anni in cui si sono verificati episodi di ENSO (1987-1988 e 1991-1992), il che permette di ipotizzare che il modello simuli in modo realistico la variabilità interannuale tropicale legata a ENSO, almeno in termini di SST. Un altro risultato rilevante mostrato in Figura 2, è la minore

correlazione con le osservazioni delle previsioni ottenute per la stagione estiva (giugno-luglio-agosto, partendo dal 1° maggio come condizione iniziale, Figura 2 pannello b). Questo risultato sembra suggerire una minore predicibilità della stagione estiva.

I valori di correlazione indicati dalle barre nere negli istogrammi di Figura 2, sono le correlazioni ottenute dalle medie di "ensemble" delle anomalie stagionali simulate. Questi valori sono, in generale, più grandi dei valori delle singole previsioni, indicando che la media di "ensemble" produce una previsione migliore delle singole simulazioni. Questo risultato è alla base della scelta di eseguire "ensemble" di simulazioni per fare le previsioni, e può essere spiegato dal fatto che gli errori introdotti dalle perturbazioni delle condizioni iniziali, possono essere considerati indipendenti e, quindi, si compensano nell'operazione di media di insieme. In altre parole, eseguendo un insieme di simulazioni che partono da condizioni iniziali perturbate, si annullano, almeno parzialmente, gli errori dovuti alle incertezze nella nostra conoscenza dello stato iniziale del sistema.

La Figura 3 mostra un'analisi simile a quella discussa per la Figura 2, ma questa volta le correlazioni spaziali sono state calcolate per le anomalie stagionali della precipitazione nella fascia tropicale. Le medie stagionali delle anomalie di precipitazione sono state correlate con le medie stagionali delle anomalie osservate durante quelle stesse stagioni (Xie e Arkin 1996). Anche in questo caso le previsioni delle anomalie di precipitazione nei tropici sono ragionevolmente buone. In particolare le correlazioni tendono ad essere più alte durante i periodi di ENSO, quando, cioè, anche le correlazioni delle anomalie di SST sono alte. Anche in questo caso, poi, i risultati indicano un minore predicibilità del sistema, durante la stagione estiva (giugno-luglio-agosto; Figura 2, pannello b).

SOMMARIO

In questo studio, abbiamo presentato brevemente il sistema di previsioni stagionali implementato all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), nell'ambito del progetto CLIMAGRI.

Le previsioni stagionali sono effettuate per mezzo di un "ensemble" di simulazioni eseguite con un modello accoppiato oceano-atmosfera di circolazione generale. Le simulazioni che costituiscono l'"ensemble" differiscono per le condizioni iniziali, che sono opportunamente perturbate.

Allo scopo di effettuare una approfondita verifica delle capacità del sistema di produrre previsioni realistiche, abbiamo eseguito previsioni stagionali per il periodo 1987-1996, i dati ottenuti in questo modo verranno analizzati in dettaglio. Un'analisi preliminare dei risultati, comunque, indica che il modello è in grado di fornire previsioni ragionevolmente realistiche delle anomalie di SST e precipitazione nelle regioni tropicali. In particolare, i risultati sembrano suggerire che il modello riproduca in modo soddisfacente la variabilità tropicale legata agli eventi ENSO. Questo risultato è di notevole importanza, se si considera che ENSO è il fenomeno responsabile della più intensa variabilità climatica, non solo tropicale, su scala interannuale.

Lo sviluppo di questo studio prevede, oltre al completamento dell'analisi dei risultati fin qui ottenuti, l'estensione delle previsioni per il periodo 1997-2002, e la produzione di previsioni per la prossima stagione estiva (estate 2003).

BIBLIOGRAFIA

AchutaRao, K., and K.R. Sperber (2001): El Nino/Southern Oscillation in coupled GCMs. PCMDI Report No. 61, pp. 45.

Gualdi, S., A. Navarra, E. Guilyardi and P. Delecluse (2003a): Assessment of the tropical Indo-Pacific climate in the SINTEX CGCM. *Annals of Geophysics*, in stampa.

Gualdi, S., E. Guilyardi, A. Navarra, S. Masina and P. Delecluse (2003b): The interannual variability in the tropical Indian Ocean as simulated by a CGCM. *Clim. Dyn.*, in stampa

Guilyardi, E., P. Delecluse, S. Gualdi and A. Navarra (2002): The role of meridional recharging in ENSO phase change. *J. Climate*, in stampa

Kalnay, E. and Coauthors (1996): The NCEP/NCAR 40--year Re--analysis Project. *Bull.Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

Madec, G., P. Delecluse, M. Imbard and C. Levy (1998): OPA version 8.1 ocean general circulation model reference manual. Technical Report, LODYC/IPSL, Note 11.

McPhaden, M.J and coauthors (1998): The Tropical Ocean-Global Atmosphere observing system: A decade of progress. *J. Geophys. Res.*, 103, 14169-14240.

Neelin, J.D. and coauthors (1998): ENSO theory. *J. Geophys. Res.*, 103, 14261-14290.

Rayner, N. A., D. E. Parker, P. Frich, E. B. Horton, C. K. Folland and L. V. Alexander (2000): The HadISST Global Sea-Ice and Sea-Surface Temperature Dataset, 1871-1999. *Hadley Centre Technical Note*, 17.

Roeckner, E. and Coauthors (1996): The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Rep. No 218, 90 pp.

Terray L. (1998): Sensitivity of climate drift to atmospheric physical parameterizations in a coupled ocean-atmosphere general circulation model. *J. Climate*, 11, 1633-1658.

Valcke, S., L. Terray and A. Piacentini (2000): The OASIS coupler user guide version 2.4. Technical Report, TR/CMGC/00-10, CERFACS.

Xie, P. and P.A. Arkin (1996): Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions; *J. Climate*, 9, 840-858.

Zebiak, S.E. and M.A. Cane (1987): A model El Nino-Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2262-2278.

FIGURE

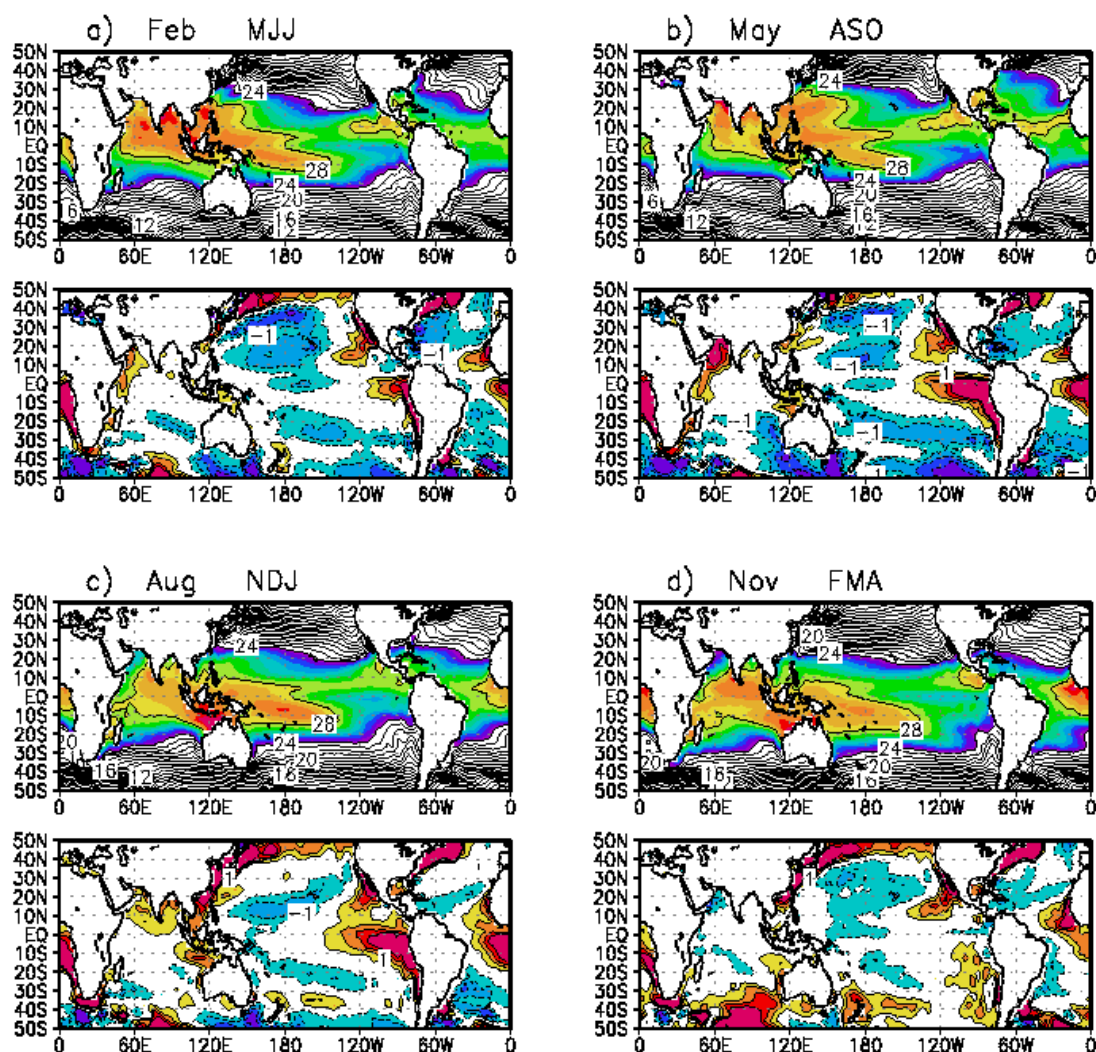


Fig.1 - Media di "ensemble" della temperatura superficiale marina (SST) ottenuta dalle previsioni per le stagioni definite dal 4°, 5° e 6° mese di simulazione . a) pannello superiore: media della SST ottenuta dall'insieme di previsioni che hanno come data iniziale il 1° febbraio. La media, in questo caso, rappresenta la stagione maggio-giugno-luglio; pannello inferiore: differenza tra i risultati ottenuti dal modello e dalle osservazioni. b) come a) ma per le previsioni che hanno come data iniziale il 1° maggio. c) come a) ma per le previsioni che hanno come data iniziale il 1° agosto. d): come a) ma per le previsioni che hanno come data iniziale il 1° novembre. Nelle figure dei valori medi del modello (pannelli superiori) le linee di contorno sono di 1°C, mentre le aree colorate hanno incrementi di 0.5°C. Nelle figure rappresentanti le differenze modello-osservazioni (pannelli inferiori) sia le linee di contorno che le aree colorate hanno incrementi di 0.5°C.

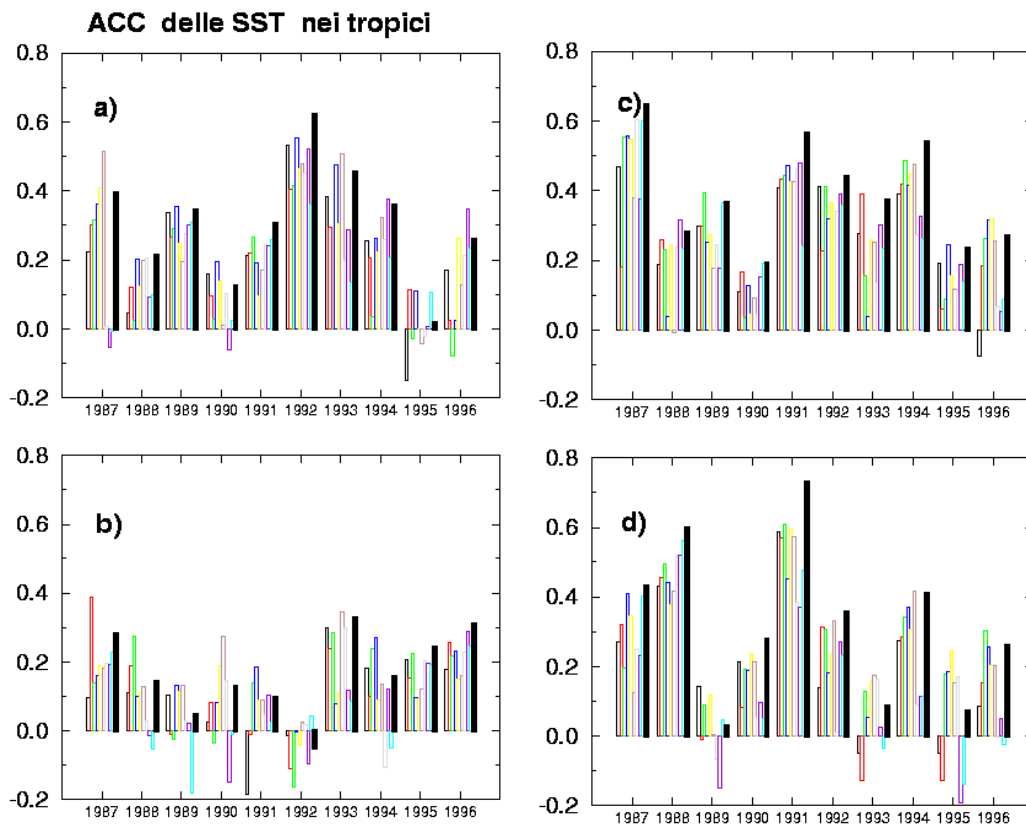


Fig. 2 - Coefficienti di correlazione tra le medie stagionali delle anomalie di SST simulate dal modello e le anomalie di SST osservate nella fascia tropicale (30°S-30°N). le medie stagionali sono state calcolate come medie del 2°, 3° e 4° mese di simulazione. La colonna nera rappresenta il coefficiente di correlazione ottenuto dalla media di "ensemble". a) simulazioni con data di inizio 1° febbraio; b) simulazioni con data di inizio 1° maggio; c) simulazioni con data di inizio 1° agosto; d) simulazioni con data di inizio 1° novembre.

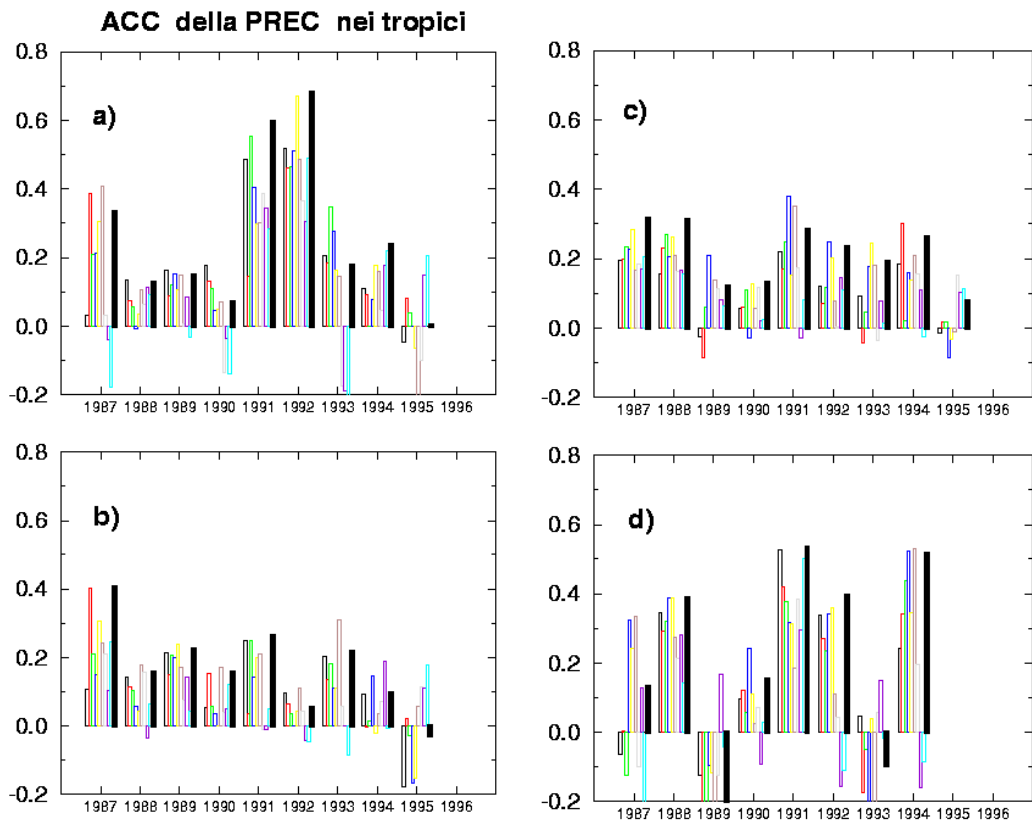


Fig. 3 - Come in Figura 2, ma per le anomalie di precipitazione.